

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Batubara**

Batubara adalah sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut. Penimbunan lanau dan sedimen lainnya, bersama dengan pergeseran kerak bumi (dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur rawa dan gambut yang seringkali sampai ke kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan tersebut terkena suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang tinggi tersebut menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi gambut dan kemudian batu bara. Pembentukan batubara dimulai sejak carboniferous period (periode pembentukan karbon atau batu bara) dikenal sebagai zaman batu bara pertama – yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu. Mutu dari setiap endapan batu bara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai ‘maturitas organik’. Batubara dibedakan menjadi berbagai jenis tergantung kepada suhu dan tekanan seperti yang telah disebutkan di atas.

##### **2.1.1 Jenis-jenis batubara**

Adapun jenis-jenis batubara adalah :

###### **a) Gambut (peat)**

Golongan ini sebenarnya belum termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa gambut merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).

###### **b) Lignite**

Golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah.

c) Sub-Bituminous (Bitumen Menengah)

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi.

d) Bituminous

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (brittle) dengan membentuk bongkah-bongkah prisma. Berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini dapat digunakan antara lain untuk kepentingan transportasi dan industri.

e) Anthracite

Golongan ini berwarna hitam, keras, mengkilap, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.

### 2.1.2 Kandungan Batubara

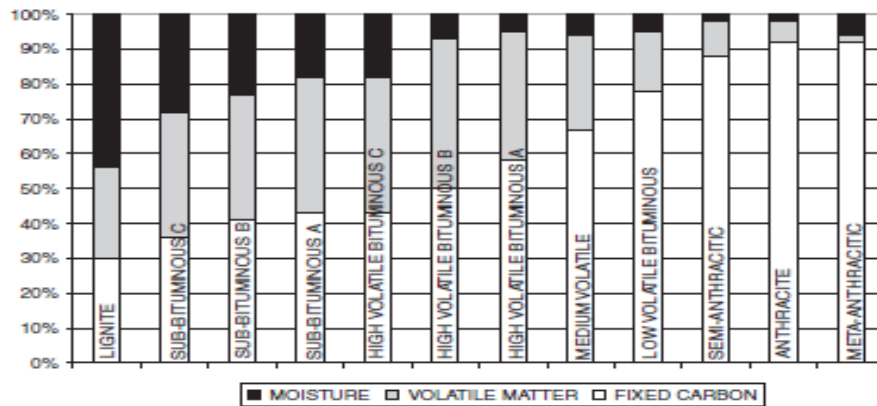
Setiap jenis batubara memiliki komposisi yang berbeda beda. Pengujian kandungan batubara secara proximate dan ultimate dibutuhkan untuk mengetahui karakter dan komposisi dari batubara, secara fisik, kimia dan fuel properties, dari batubara yang akan digunakan pada proses gasifikasi. Pada Tabel 2.1 juga ditampilkan analisa ultimate yang bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. Data yang didapatkan dari analisa ultimate dapat digunakan untuk menghitung *Air Fuel Ratio*.

**Tabel 2.1** Analisa *ultimate* dari berbagai jenis batubara di dunia.

	<----- Low Rank ----->		<----- High Rank ----->	
Rank:	Lignite	Subbituminous	Bituminous	Anthracite
Age:	----- increases ----->			
% Carbon:	65-72	72-76	76-90	90-95
% Hydrogen:	~5	----- decreases ----->		
% Nitrogen:	<----- ~1-2 ----->			
% Oxygen:	~30	----- decreases ----->		
% Sulfur:	~0	----- increases ----->	~4	----- decreases ----->
%Water:	70-30	30-10	10-5	~5
Heating value (BTU/lb):	~7000	~10,000	12,000–15,000	~15,000

(Sumber: Variation of selected coal properties with coal rank)

Adapun rata – rata nilai proximate dan kalor dari batubara di dunia dapat dilihat dari gambar berikut.



**Gambar 2.1** Nilai analisa proximate rata-rata di dunia

(Sumber : Boughman, 1987)

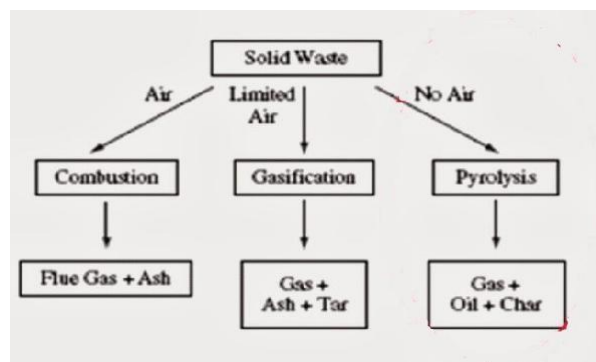
## 2.2 Gasifikasi

### 2.2.1 Definisi Gasifikasi

Batubara memiliki tiga metode konversi secara *thermochemical*, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran (combustion). Perbedaan jenis konversi tersebut terletak pada jumlah udara (oksigen) yang dikonsumsi saat proses konversi berlangsung. Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan energi yang terkandung di dalam batubara melalui suatu konversi dari fase padat menjadi fase gas dengan menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu reaktor yang disebut *gasifier*. Ke dalam *gasifier* ini nantinya akan dimasukkan bahan bakar batubara untuk dibakar secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang dapat terbakar (*flammable*), yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin pembakaran dalam (diesel atau bensin),

yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik (Trifiananto, M., 2015).

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material yang mengandung karbon menjadi gas mampu bakar, berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam *gasifier*. Di dalam *gasifier* inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran dengan bereaksi terhadap oksigen untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya (Trifiananto, M., 2015).



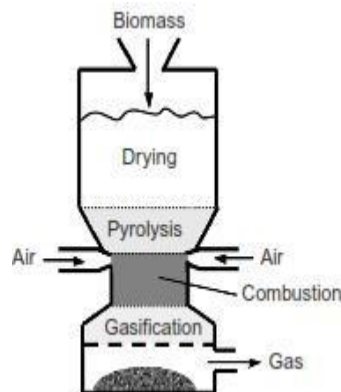
**Gambar 2.2** Ilustrasi perbandingan *gasifikasi* , *combustion* dan *pyrolysis*

Sumber : Trifiananto, 2015.

### 2.2.2 Bed-Gasifier Downdraft

Sebuah *gasifier downdraft* adalah reaktor dimana arah aliran udara dan bahan baku sama-sama menuju bawah. Gas produk mengalir ke bawah (memberikan nama downdraft) dan gas keluar dari bagian bawah *gasifier*. Gasifikasi jenis ini menghasilkan *tar* yang lebih rendah dibandingkan *updraft*. Hal ini karena *tar* yang merupakan hasil pirolisis terbawa bersama gas dan kemudian masuk ke daerah pembakaran (*combustion*) dan kemudian gasifikasi yang memiliki

temperatur lebih tinggi. Pada daerah gasifikasi dan pembakaran inilah, *tar* kemudian akan terurai.



**Gambar 2.3** Skema *downdraft*

Sumber : Trifiananto, 2015.

Pada proses gasifikasi ada beberapa tahapan yang dilalui oleh batubara sehingga pada akhirnya menjadi gas yang *flammable*. Tahapan gasifikasi dapat berbeda untuk setiap *gasifier*. Proses tersebut meliputi:

*a. Drying*

Pada proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung didalam batubara bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-250 °C. kadar air pada batubara melalui proses konveksi, karena pada reaktor terjadi pemanasan dari udara bergerak yang memiliki *humidity* yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air pada batubara. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung didalam batubara sehingga proses *drying* akan berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi, yang terjadi pada reaktor menghasilkan energi panas yang cukup besar dan menyebar ke seluruh bagian reaktor. Disamping itu kecepatan gerak media pengering turut mempengaruhi proses *drying* yang terjadi.



*b. Pirolisis*

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari batubara menjadi produk yang bermanfaat, dalam keadaan tidak adanya oksidator secara total atau dengan pasokan

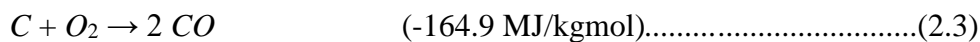
yang terbatas yang tidak mengizinkan gasifikasi ketinggian yang cukup. Ini adalah salah satu beberapa langkah reaksi atau zona yang diamati dalam *gasifier*. Selama pirolisis molekul hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi molekul yang lebih simpel dan relatif lebih kecil seperti gas, cairan, dan *char*. Ini berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.



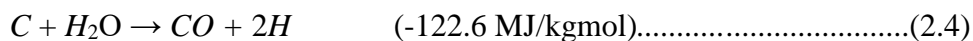
c. Gasification (Reduction)

Ini adalah zona utama dimana kita mendapatkan *syngas*. Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Diantaranya adalah *Bourdouard reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation* yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa-senyawa yang berguna untuk menghasilkan *flammable gas*, seperti *hydrogen* dan *carbon monoksida*. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 600-1000 °C. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut :

Bourdouard reaction



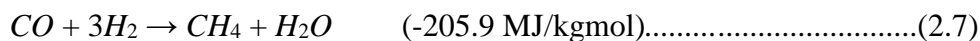
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction



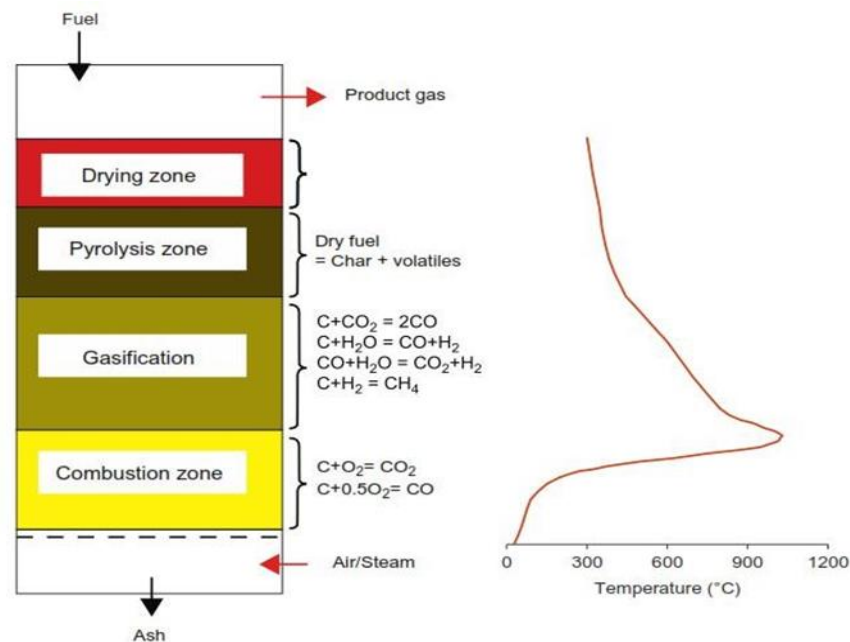
Methanation



d. Oksidasi Parsial

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon dibawah. Proses yang terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya 700-1500 °C. Pada temperatur setinggi ini pada *gasifier updraft*, akan memecah substansi *tar* sehingga kandungan *tar* yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah:





**Gambar 2.4** Tahapan dan distribusi suhu pada *gasifier*

Sumber : Trifiananto, 2015.

### 2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan syngas yang dihasilkan. Faktor-faktor tersebut adalah:

#### 1. Properties Batubara

Tidak semua batubara dapat dikonversikan menjadi syngas, ada beberapa parameter yang menjadi tolak ukur untuk mengklasifikasikan bahan baku yang baik dan yang kurang baik berdasarkan kandungan dan sifat yang dimilikinya. Beberapa parameter tersebut antara lain :

##### a. Kandungan Energi

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki batubara maka syngas hasil gasifikasi batubara tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.

##### b. Moisture

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan bermoisture rendah. Karena kandungan moisture yang tinggi menyebabkan *heat loss* yang berlebihan. Selain itu kandungan moisture yang

tinggi juga menyebabkan beban pendinginan semakin tinggi karena *pressure drop* yang terjadi meningkat. Idealnya kandungan moisture yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi kurang dari 20%.

c. Debu

Semua bahan baku gasifikasi menghasilkan *dust* (debu). Adanya *dust* ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan maintenance lebih. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan kandungan *dust* yang tidak lebih dari 2-6 g/m<sup>3</sup>.

d. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif. Sesungguhnya tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam dan dapat mengganggu pernapasan. Pada reactor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk *approximate atomic* CH<sub>1.2</sub>O<sub>0.5</sub>, terjadi pada temperature pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperature yang lebih rendah. Apabila hasil gas yang mengandung tar relative tinggi dipakai pada kendaraan bermotor, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan intake valve sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m<sup>3</sup>.

e. Ash dan Slagging

*Ash* adalah kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksida setelah proses pembakaran. Sedangkan *slag* adalah kumpulan *ash* yang lebih tebal. Pengaruh adanya *ash* dan *slag* pada gasifier adalah:

- Menimbulkan penyumbatan pada *gasifier*
- Pada titik tertentu mengurangi respon pereaksi bahan baku

2. Desain Reaktor

Terdapat berbagai macam bentuk gasifier yang pernah dibuat untuk proses gasifikasi. Untuk gasifier bertipe *imberty* yang memiliki *neck* di dalam reaktornya, ukuran dan dimensi *neck* amat mempengaruhi proses pirolisis, pencampuran, *heatloss* dan nantinya akan mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkan.



### 3. Jenis Gasifying Agent

Jenis *Gasifying Agent* yang digunakan dalam gasifikasi umumnya adalah udara dan kombinasi oksigen dan uap. Penggunaan jenis *gasifying agent* mempengaruhi kandungan gas yang dimiliki oleh *syngas*. Berdasarkan penelitian, perbedaan kandungan *syngas* yang mencolok terlihat pada kandungan nitrogen pada *syngas* dan mempengaruhi besar nilai kalor yang dikandungnya. Penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang pekat di dalam *syngas*, berlawanan dengan penggunaan oksigen/uap yang memiliki kandungan nitrogen yang relatif sedikit. Sehingga penggunaan *gasifying agent* oksigen/uap memiliki nilai kalor *syngas* yang lebih baik dibandingkan *gasifying agent* udara.

### 4. Rasio Bahan Bakar dan Udara

Perbandingan bahan bakar dan udara dalam proses gasifikasi mempengaruhi reaksi yang terjadi dan tentu saja pada kandungan *syngas* yang dihasilkan. Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika menginginkan hasil *syngas* yang maksimal.

## 2.3 Absorber

Absorber adalah alat yang digunakan untuk proses absorpsi. Absorpsi merupakan salah satu operasi pemisahan dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap yang sesuai, sehingga satu atau lebih komponen dalam campuran gas larut dalam cairan penyerap. Pada absorpsi ada dua macam proses yaitu :

#### a. Absorpsi fisik

Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas  $H_2S$  dengan air, metanol, propilen, dan karbonat. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, atau pelarutan gas ke fase cair. Dari absorpsi fisik ini ada beberapa teori untuk menyatakan model mekanismenya, yaitu, teori model film, teori penetrasi, teori permukaan yang diperbaharui.

#### b. Absorpsi kimia

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut didalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi dengan adanya larutan MEA, NaOH,  $K_2CO_3$ , dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas  $CO_2$  pada pabrik amonia. Penggunaan absorpsi kimia pada fase kering sering digunakan untuk mengeluarkan zat terlarut secara lebih sempurna dari campuran gasnya. Keuntungan absorpsi kimia adalah meningkatnya koefisien perpindahan massa gas, sebagian dari perubahan ini disebabkan makin besarnya luas efektif permukaan. Absorpsi kimia dapat juga berlangsung di daerah yang hampir stagnan disamping penangkapan dinamik.

### 2.4 Absorben

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya, baik secara fisik maupun secara reaksi kimia. Absorben sering juga disebut sebagai cairan pencuci. Persyaratan absorben yaitu : Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi yang sebesar mungkin (kebutuhan akan cairan lebih sedikit, volume alat lebih kecil), selektif, memiliki tekanan uap yang rendah, tidak korosif, mempunyai viskositas yang rendah, stabil secara termis, murah. Jenis-jenis bahan yang dapat digunakan sebagai absorben adalah air (untuk gas-gas yang dapat larut, atau untuk pemisahan partikel debu dan tetesan cairan), natrium hidroksida (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti asam) dan asam sulfat (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti basa).

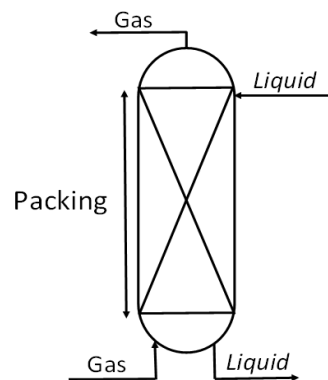
### 2.5 Kolom Absorpsi

Kolom absorpsi adalah suatu kolom atau tabung tempat terjadinya proses pengabsorpsi (penyerapan/penggumpalan) dari zat yang dilewatkan di kolom/tabung tersebut. Proses ini dilakukan dengan melewatkan zat yang terkontaminasi oleh komponen lain dan zat tersebut dilewatkan ke kolom ini dimana terdapat fase cair dari komponen tersebut. Berikut ini adalah prinsip kerja kolom absorpsi : Kolom absorpsi adalah sebuah kolom, dimana ada zat yang berbeda fase mengalir berlawanan arah yang dapat menyebabkan komponen kimia

ditransfer dari satu fase cairan ke fase lainnya, terjadi hampir pada setiap reaktor kimia. Proses ini dapat berupa absorpsi gas, destilasi, pelarutan yang terjadi pada semua reaksi kimia. Campuran gas yang merupakan keluaran dari reaktor diumpankan kebawah menara absorber. Didalam absorber terjadi kontak antar dua fasa yaitu fasa gas dan fasa cair mengakibatkan perpindahan massa difusional dalam umpan gas dari bawah menara ke dalam cairan absorben yang diumpankan dari bagian atas menara.

### 2.5.1 Menara Packed Bed

Menara packed bed ini berisi packing, liquid didistribusi diatas packing dan mengalir kebawah membentuk lapisan tipis di permukaan packing. Gas umumnya mengalir keatas berlawanan arah terhadap jatuhnya liquid. Kedua fasa (liquid & gas) akan teraduk sempurna. Tower/kolom berpacking ini digunakan bila perpindahan massa dikendalikan oleh kedua tahanan baik gas maupun liquid



**Gambar 2.5** Packed Tower

*Sumber : Suherman, 2009.*

Jenis ini adalah yang paling banyak diterapkan pada menara absorpsi. Packed column lebih banyak digunakan mengingat luas kontakannya dengan gas namun kapasitas dari absorber column model ini relatif lebih kecil. Packed column berfungsi mirip dengan media filter, dimana gas dan cairan akan tertahan dan berkontak lebih lama dalam kolom sehingga operasi absorpsi akan lebih optimal. Beragam jenis packing telah dikembangkan untuk memperluas daerah dan efisiensi kontak gas-cairan. Ukuran packing yang umum digunakan adalah 3-75 mm. Bahan yang digunakan dipilih berdasarkan sifat inert terhadap komponen gas maupun cairan solven dan pertimbangan ekonomis, antara lain tanah liat, porselin, grafit dan plastik. Packing yang baik biasanya memenuhi 60-90% dari volume kolom.

*Countercurrent packed column tower* secara prinsip dioperasikan berdasarkan sifat absorpsi partikel cair (liquid) ketika berinteraksi dengan partikel padat atau gas. Efektifitas liquid dalam sistem *countercurrent packed column tower* menjadi salah satu pertimbangan utama dalam mendesainnya untuk mereduksi gas-gas emisi. Penggunaan *countercurrent packed column tower* dalam periode waktu tertentu dapat menurunkan pH pada air absorban yang digunakan. Dengan menggunakan parameter perubahan pH dan pengukuran efisiensi penyisihan (removal), maka akan diketahui efektifitas kinerja sistem alat yang paling optimal untuk mengabsorpsi emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran.

Prinsip kerja *countercurrent packed column tower* ialah gas yang akan diolah masuk dari dasar reaktor dan mengalir keatas melalui media packing, sedangkan liquid dialirkan dari bagian atas reaktor dengan menggunakan alat penyemprot spray nozzles. Sehingga tetesan liquid (droplets) mengalir ke bawah melalui media packing untuk memungkinkan terjadinya kontak dengan gas. Gas yang telah diikat oleh absorban akan turun ke bawah, sedangkan gas bersih akan keluar lewat bagian atas reaktor (Cheremisinoff, 1993). Menurut Boedisantoso (2003), dalam desain absorber untuk emisi gas, perpindahan massa optimum dapat dicapai pada kondisi sebagai berikut: : tersedianya daerah kontak yang luas, terjadinya pencampuran yang baik antara gas dan cairan, tersedianya waktu kontak yang cukup antar fase, tingkat solubilitas atau kelarutan yang tinggi dari kontaminan di dalam absorber. Spray nozzles biasanya dirancang dalam ukuran aliran air yang dibutirkan 42 – 170.000 m<sup>3</sup>/jam. Namun demikian harus tetap diperhatikan faktor-faktor berikut untuk kesempurnaan operasionalnya :

- Kecepatan aliran gas yaitu antara 0,3 – 1,0 m/detik. /jam.
- Ukuran butiran air yang lebih kecil akan memperbesar laju absorpsi, karena naiknya luas permukaan kontak.
- Rasio Liquid Gas (L/G) yang semakin besar maka akan terjadi kenaikan efisiensi absorpsi secara langsung.

Dalam aplikasi industri biasanya dibuat tower absorber dengan ketinggian 50 ft dan diameter 2 ft. namun demikian untuk memperlambat aliran gas dalam fase absorpsi, maka diameter tower dapat diperbesar sehingga proses absorpsi lebih baik (Holmes, 1998).

### 2.5.2 Keunggulan Menara Packed Bed

- Fabrikasi yang minim

Kolom isian hanya membutuhkan sejenis packing support dan sebuah distributor cairan untuk tiap ketinggian 10 ft.

- Versatilitas

Materi isian dapat dengan mudah ditukar sehingga mudah meningkatkan efisiensi, menurunkan pressure drop, dan meningkatkan kapasitas.

- Minim Korosi

Larutan asam dan larutan yang bersifat korosif lainnya dapat diatasi oleh packed bed column karena konstruksi kolom terbuat dari material yang tahan korosi.

- Pressure drop yang rendah

Lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis Sieve Tray.

- Capital cost yang rendah Bila digunakan isian plastik dengan diameter kurang dari 3 ft, investasi masih dianggap murah.

### 2.5.3 Kelemahan Menara Packed Bed

- ☐ Jika terdapat padatan atau pengotor, maka akan sulit dibersihkan
- ☐ Isian packed column akan mudah patah selama proses pengisian dan proses pemanasan
- ☐ Tidak ekonomis jika laju alir pelarut tinggi

### 2.5.4 Ketentuan Isian dari Menara Packed Bed

- a) Bersifat inert terhadap fluida
- b) Kuat tetapi tidak berat
- c) Memiliki fraksi kekosongan yang cukup untuk menjamin kontak yang optimal namun tidak menaikkan pressure drop
- d) Biaya murah

Terdapat dua metode pengisian packing pada kolom absorber, yaitu:

- a) Random Packing Pengisian secara acak memberikan luas permukaan spesifik yang besar dan porositas yang lebih kecil, sehingga menurunkan biaya investasi. Namun, pressure drop yang dihasilkan akan lebih besar.

b) Regular or Stack Packing Pengisian yang tersusun memberikan pressure drop yang lebih kecil dan efektif untuk laju alir yang tinggi. Namun, investasi lebih besar.

## 2.6 Pemilihan Absorben

Pertimbangan pemilihan pelarut yang digunakan untuk proses absorpsi memiliki kriteria sebagai berikut:

a) Tujuan dari proses absorpsi, di antaranya:

- ☐ Jika tujuan utama operasi untuk menghasilkan larutan yang spesifik, maka pelarut ditentukan berdasarkan sifat dari produk. Contoh: produksi HCl.
- ☐ Jika tujuan utama adalah menghilangkan kandungan tertentu dari gas, maka ada banyak pilihan yang mungkin. Misalnya air yang merupakan pelarut paling murah, tersedia dalam jumlah yang banyak, dan sangat kuat untuk senyawa polar.

b) Kelarutan Gas

Kelarutan gas harus tinggi sehingga dapat meningkatkan laju absorpsi dan menurunkan kuantitas pelarut yang diperlukan. Umumnya, pelarut yang memiliki sifat yang sama dengan bahan terlarut akan mudah dilarutkan.

c) Volatilitas

Pelarut harus memiliki tekanan uap yang rendah karena jika gas yang meninggalkan kolom absorpsi jenuh dengan pelarut, maka akan ada banyak pelarut yang terbuang. Jika diperlukan, dapat menggunakan cairan pelarut kedua, yaitu yang volatilitasnya lebih rendah untuk menangkap porsi gas teruapkan.

d) Korosivitas

Material bangunan menara dan isinya sedapat mungkin tidak dipengaruhi oleh sifat pelarut. Pelarut yang korosif dapat merusak menara dan oleh sebab itu memerlukan material menara yang mahal atau tidak mudah dijumpai, oleh karenanya kurang disukai.

e) Harga

Penggunaan pelarut yang mahal dan tidak mudah ter-recovery akan meningkatkan biaya operasi menara absorber.

f) Ketersediaan

Ketersediaan pelarut di dalam negri akan sangat berpengaruh terhadap stabilitas harga dan biaya operasi secara keseluruhan.

g) Viskositas

Viskositas pelarut yang rendah amat disukai karena akan terjadi laju absorpsi yang tinggi, meningkatkan karakter flooding dalam menara, serta perpindahan kalor yang baik.

h) Lain-lain Sebaiknya pelarut tidak memiliki sifat toksik, flamable, dan sebaliknya pelarut sedapat mungkin harus stabil secara kimiawi dan memiliki titik beku yang rendah.

## 2.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Absorpsi

Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi laju absorpsi, antara lain sebagai berikut :

a) Luas permukaan kontak : Semakin besar permukaan gas dan pelarut yang kontak, maka laju absorpsi yang terjadi juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan, permukaan kontak yang semakin luas akan meningkatkan peluang gas untuk berdifusi ke pelarut.

b) Laju alir fluida : Jika laju alir fluida semakin kecil, maka waktu kontak antara gas dengan pelarut akan semakin lama. Dengan demikian, akan meningkatkan jumlah gas yang berdifusi.

c) Konsentrasi gas : Perbedaan konsentrasi merupakan salah satu *driving force* dari proses difusi yang terjadi antar dua fluida.

d) Tekanan operasi : Peningkatan tekanan akan meningkatkan efisiensi pemisahan.

e) Temperatur komponen terlarut dan pelarut : Temperatur pelarut hanya sedikit berpengaruh terhadap laju absorpsi.

f) Kelembaban Gas : Kelembaban yang tinggi akan membatasi kapasitas gas untuk mengambil kalor laten, hal ini tidak disenangi dalam proses absorpsi. Dengan

demikian, proses dehumidification gas sebelum masuk ke dalam kolom absorber sangat dianjurkan.

## 2.8 Isian Absorber (*Packing Absorber*)

Bahan atau material packing merupakan jantung dari absorber, packing ini menyediakan ruang permukaan tempat mengalirnya larutan absorban. Dimana, pada packing ini tersedia pula ruang yang cukup luas untuk terjadinya reaksi perpindahan masa (Mycook et al, 1995). Tujuan packing adalah untuk memaksimalkan efisiensi pada kapasitas yang diberikan, pada biaya yang ekonomis. Untuk mencapai tujuan ini, maka packing dibentuk untuk memaksimalkan specific surface area, menyebarkan surface area secara seragam, memaksimalkan ruang kosong per satuan volume kolom, meminimalkan friksi, meminimalkan biaya.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan packing antara lain :

- Packing harus bisa memberikan luas permukaan basah yang besar per satuan volume dari ruang yang berisi packing, agar terbentuk luas interface yang besar untuk terjadinya kontak antara fase gas dan cairan. Sehingga ukuran media packing sangat berpengaruh.
  - Packing harus memiliki rongga volume yang besar, agar pressure drop yang terjadi tidak berlebihan dan dapat pula menimbulkan aliran yang besar.
  - Packing harus memiliki sifat pembasahan yang baik (mudah dibasahi) dan harus dipilih secara efektif ditinjau dari segi ketahanan terhadap korosi
  - Packing harus memiliki bulk density yang rendah (menyangkut sistem penahan atau pondasi *packed tower*) dan sedapat mungkin memilih harga yang relatif murah.
- Penyusunan packing dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu penyusunan secara acak (*moving packing*) serta penyusunan secara teratur (*fixed packing*). Pada penyusunan secara acak, packing hanya dimasukkan dengan cara dituang secara perlahan dan dibiarkan jatuh ke dalam kolom, sehingga susunan packing menjadi acak. Jenis packing yang umum digunakan untuk susunan acak antara lain raschig ring, lessing ring, pall ring, pingpong ball (polyethilen, polypropylene dan sebagainya) (Cheremisinoff, 1993). Sedangkan penyusunan secara teratur dilakukan dengan cara memasukkan dan mengeluarkan packing satu demi satu



secara perlahan agar didapatkan susunan packing yang teratur. Penyusunan dengan cara ini akan menghasilkan distribusi liquid yang lebih baik melalui seluruh permukaan packing, serta pressure drop yang rendah. Namun pemasangan fixed packing akan membutuhkan biaya yang lebih mahal daripada moving packing. Efek difusi akan sangat penting untuk partikel yang sangat kecil ( $< 0,5$  mm). dalam mekanisme ini gerak acak partikel menghasilkan kontak dengan droplet air. Efisiensi wet scrubber akan meningkat untuk partikel yang lebih kecil karena efek difusi ini menjadi utama (Lestari, 2004). Proses removal gas  $\text{SO}_2$  dengan mekanisme absorpsi meliputi tiga tahapan sebagai berikut (Lee, 1999) :

- Tahap pertama, polutan gas berdifusi dari area terbesar dari fase gas ke permukaan penghubung gas liquid.
- Tahap kedua, gas bergerak menembus permukaan penghubung menuju fase cairan. Tahapan ini terjadi secara cepat seketika setelah molekul gas hadir di area permukaan penghubung.
- Tahap ketiga, gas berdifusi ke dalam area terbesar dari cairan, hal ini menciptakan ruang bagi molekul gas selanjutnya yang diabsorpsi.

## 2.9 Pressure Drop pada *Packed Bed Column*

Faktor penting yang harus diperhatikan dalam penggunaan kolom isian adalah besarnya *pressure drop*. Hal ini terutama berkaitan dengan fenomena yang disebut dengan *flooding* (penggenangan), dimana cairan yang seharusnya bergerak menuruni kolom, tertahan pergerakannya oleh tekanan gas yang terlalu besar atau ruang antar isian terlalu rapat. Fenomena *flooding* dapat terjadi bila pada laju alir gas konstan, laju alir cairan dinaikkan sehingga cairan mengisi lebih banyak ruang antar isian dan mengurangi ruang gerak gas. Bila hal ini terus terjadi, maka akan timbul fenomena *flooding* cairan serta kenaikan *pressure drop* yang tinggi. Hampir sama dengan di atas, untuk laju alir cairan turun yang tetap, ternyata laju alir gas ditingkatkan sehingga *pressure drop* ikut naik, maka akan terjadi *flooding*.

## 2.10 Porositas Packing

Daya serap dan daya salur fluida yang dimiliki batuan dipengaruhi oleh porositas dan permeabilitas batuan tersebut. Permeabilitas adalah kemampuan batuan untuk menyalurkan air tersebut. Porositas dan permeabilitas dari batuan salah satunya dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk dari material-material penyusun batuan tersebut.

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara volume total pori batuan dengan volume total batuan per satuan volume tertentu

## 2.11 Gas Mampu Bakar (Syngas)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. Kata sintetik gas diartikan sebagai pengganti gas alam yang dalam hal ini terbuat dari gas metana. Syngas merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Gas mampu bakar pada proses gasifikasi batubara adalah gas  $H_2$ ,  $CO$  dan  $CH_4$ . Gas hidrogen memiliki nilai panas yang tinggi dan ramah lingkungan. Pembakaran sempurna gas hidrogen hanya menghasilkan uap air ( $H_2O$ ) sehingga tidak menimbulkan pencemaran udara. Hidrogen adalah bahan bakar yang bebas dari emisi  $CO_2$  dan bisa diproduksi dengan mudah.

Nilai LHV bahan bakar dan LHV Syngas dapat ditentukan dari komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume Syngas. Komposisi masing-masing bahan bakar dan Syngas dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.2** Nilai Kalori pada Syngas

<b>Gases</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
HHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )	12,74	12,63	39,82
LHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )	10,78	12,63	35,88
Viscosity ( $\mu\rho$ )	90	182	122
Thermal Conductivity (W/m.K)	0,18	0,02	0,01
Specific Heat (kJ/Kg.K)	3,46	1,05	2,22

Sumber: Kurniawan, 2012